

Вывод. Использование технологии горячего прессования порошковых материалов с нагревом пульсирующим электрическим током позволяет сократить продолжительность обработки, минимизировать рост зерна, получить новые материалы с уникальными свойствами и существенно улучшить механические и физические свойства известных материалов. Таким образом, на данный момент одной из актуальных тем по всему миру является разработка способов и оборудования для горячего прессования порошковых материалов с нагревом пульсирующим электрическим током.

Список литературы: 1. Zuhair A. Munirw, Dat V. Quach, Manshi Ohyanagi. Electric Current Activation of Sintering: A Review of the Pulsed Electric Current Sintering Process – Journal of the American Ceramic Society, 2011, vol. 94, P. 1–19. 2. Grasso S., SakkaY., Maizza G. Electric current activated/assisted sintering (ECAS): a review of patents 1906–2008. – Science and Technology of Advanced Materials, 2009, vol. 10, p. 1–24. 3. Kessel H.U. Sintered materials on the way to production by means of modern SPS technologies. – Beichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft, 2009, vol. 86, N 10, p.145-152. 4. Zavaliangos A., Zhang J., Krammer M., Groza J.R. Temperature evolution during field activated sintering. – Materials Science and Engineering A, 2004, vol. 379, p. 218-228.

Надійшла до редколегії 18.10.2012.

УДК 621.791.927.5

Виды и особенности оборудования для горячего прессования порошковых материалов с нагревом пульсирующим электрическим током / Ткаченко Я. Ю., Лаптев А. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012.– №46)952. – С. 102-107. – Бібліограф.: 4 назв.

Технологія спікання пульсуючим електричним струмом належить до класу методів спікання, котрі використовують постійний пульсуючий струм для підвищення спікання. Технологічні переваги, такі як коротка тривалість обробки, використання високих норм нагрівання, є основними перевагами технології спікання, таким чином, мінімізується ріст зерна, що часто веде до поліпшення механічних, фізичних або оптичних властивостей, і усунення необхідності спікання домішок. Тому багато компаній, такі як FCT Systeme Gmb та SPS SYSTEX INC. приділяють велику увагу виробництву нового обладнання для технології спікання електричним струмом.

Ключові слова: порошок, нагрів, електричний струм, *гаряче пресування*, спікання пульсуючим електричним струмом.

The pulsed electric current sintering belongs to a class of sintering techniques that employ a pulsed direct current (DC) to intensify sintering. Some general advantages of field assisted sintering are technological advantages such as short processing time, the use of high heating rates thereby minimising grain growth, which often leads to improved mechanical, physical or optical properties, and elimination of the need of sintering aids. Therefore, many companies, such as FCT Systeme GmbH and SPS SYSTEX INC., pay much attention to product of new equipment for the PECS technologies.

Keywords: powder, heating, electric current, hot pressing, pulsed electric current sintering.

УДК 621.7.044

О. В. ТРОЦКО, канд. техн. наук, доц., КрНУ им. М. Остроградского, Кременчуг

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

В работе приведены исследования потери устойчивости пластического деформирования при плоском напряженном состоянии. Установлено, что при определенных видах нагружения разрушение происходит раньше, чем потеря устойчивости. Приведены зависимости между интенсивностью деформаций и показателем схемы напряженного состояния. Определены граничные значения показателя схемы напряженного состояния, исключающие потерю устойчивости.

© О. В.Троцко, 2012

Ключевые слова: формоизменение, потеря устойчивости, интенсивность деформаций, показатель схемы напряженного состояния.

Введение. В процессах формоизменения листовых деталей могут возникать состояния, которые приводят к появлению областей с потерей устойчивости, предшествующих разрушению, и недопустимых в готовых изделиях. Кроме того, организация процесса формоизменения, протекающего без потери устойчивости, предшествующей разрушению, позволяет получать детали минимальной разнотолщинности.

Анализ последних исследований и литературы. По теории максимальных касательных напряжений разрушение происходит путем среза по плоскостям действия максимальных касательных напряжений без видимых признаков потери устойчивости [1].

Установлено [1], что в зависимости от соотношения между растягивающими напряжениями при нагружении тонкостенной трубки растягивающей силой, внутренним и наружным давлением разрушение может происходить с образованием шейки, без видимых признаков потери устойчивости, с появлением местного вздутия, т.е. разрушение может происходить без потери устойчивости при пластической деформации, когда ни один из силовых факторов не достигает экстремума, либо с потерей устойчивости, за которой следует разрушение.

Впервые это было отмечено И. Н. Изотовыми А. Г. Митюковым [2], которые получили результаты экспериментально-теоретического исследования потери устойчивости пластического деформирования при плоском и объемном напряженном состояниях.

Цель исследования. Получение граничных значений показателя схемы напряженного состояния, исключающие потери устойчивости.

Материалы исследования. Испытуемый образец – тонкостенные трубки и сплошные цилиндры (пруток) – подвергали трехпараметрическому нагружению – внутренним давлением – p_e , наружным – p_n и давлением – p_o в цилиндре. Последнее было необходимо для создания и изменения в широком диапазоне продольной силы (сжимающей и растягивающей). Установлено, что при определенных путях нагружения разрушение происходит раньше, чем потеря устойчивости, т.е. при плоском напряженном состоянии при $\frac{\pi}{6} < \omega < \frac{\pi}{4}$ (где ω – угол вида девиаторов [2]). Исчерпание несущей способности определялось не потерей устойчивости, а разрушением.

Учитывая, что коэффициент Лодэ – $\mu_\sigma = \sqrt{3} \operatorname{tg} \omega$, то для тонкостенного цилиндра [1]:

$$\mu_\sigma = 2 \frac{\sigma_z}{\sigma_\theta} - 1, \quad (1)$$

Полагая, что $\frac{\sigma_z}{\sigma_\theta} = m$, где σ_θ , σ_z – широтное и меридиональное напряжение, [3],

получаем:

$$m = \frac{(\sqrt{3} \operatorname{tg} \omega + 1)}{2}. \quad (2)$$

Таким образом, при $1 < m < 1,376$ разрушение происходит без потери устойчивости. Это соответствует нулевому значению касательных напряжений. При плоском напряженном состоянии пластичность оценивается показателем напряженного состояния предложенного И. О. Сиваком [4]:

$$\eta = \frac{\mu_\sigma + 3}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}}. \quad (3)$$

Этот показатель находится в пределах $1,932 < \eta < 2$.

Предельное состояние в условиях сложного напряженного состояния τ_{12} наступает, если [1]:

$$d\sigma_i' = d\sigma_i'', \quad (4)$$

где $d\sigma_i'$ – приращение интенсивности напряжений, соответствующих приращениям истинных деформаций за счет изменения размеров тела;

$d\sigma_i''$ – приращение интенсивности напряжений вследствие упрочнения материала.

Для тонкостенной трубы с заглушками, находящимися под действием внутреннего давления P , потеря устойчивости происходит, когда значение тангенса угла $tg\alpha$ наклона к истинной кривой деформирования материала уменьшится до значения, в полтора раза превосходящего значение окружного растягивающего напряжения σ_θ [1], т.е.:

$$tg\alpha = \frac{3}{2}\sigma_\theta. \quad (5)$$

Установлено, что склонность материалов заготовки к потере устойчивости зависит от схемы напряженного состояния, влияние которой на предельно допустимые деформации позволяют оценить многочисленные экспериментальные исследования, выполненные при различных схемах напряжения формоизменяемых заготовок в очаге деформаций [4, 5]. Схема напряженного состояния, как правило, характеризуется коэффициентом жесткости Г.А. Смирнова-Аляева, [6] показателем напряженного состояния С. И. Губки-ка или В. Л. Колмогорова [5]. В работе [7] проведена обработка экспериментальных данных, полученных при различных операциях формоизменения (см. рисунок).

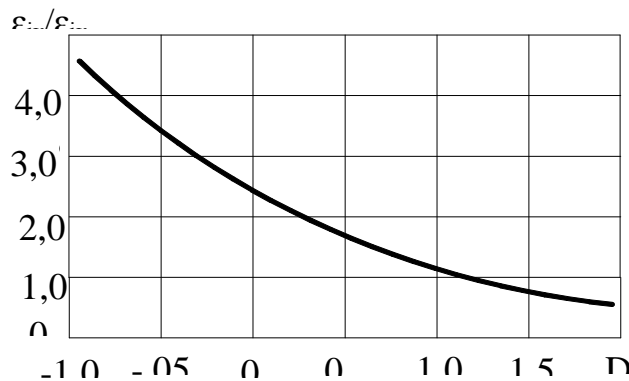


Рис. – Характер влияния схемы напряженного состояния на предельные деформации образца из стали 12X18H10T

Из рисунка следует, что зависимость между интенсивностью деформаций и показателем схемы напряженного состояния аппроксимируется уравнением вида:

$$\varepsilon_{ik} = \varepsilon_{np} (2,5 - 2,0 D + 0,5 D^2), \quad (6)$$

где ε_{np} – интенсивность деформаций в момент разрушения при линейном растяжении;

$D = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/\sigma_i$ – показатель схемы напряженного состояния (коэффициент жесткости) Смирнова-Аляева;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения;

σ_i – интенсивность напряжений.

Для получения аналитического решения квадратную зависимость с погрешностью 2–3% аппроксимируем двумя линейными уравнениями. В интервале $-1 \leq D < 0$, значений коэффициента жесткости схемы напряженного состояния, используем зависимость:

$$\varepsilon_{ik} = \varepsilon_{inp}(-2,25D + 2,5), \quad (7)$$

а в интервале $0 \leq D < 1,5$:

$$\varepsilon_{ik} = \varepsilon_{inp}(-D + 2,5), \quad (8)$$

где ε_{ik} – интенсивность деформаций в момент разрушения при линейном растяжении.

Результаты исследования. Зависимость (7) практически совпадает с экспериментальными данными [7]. Значения, полученные по зависимости (8), приводят к изменению ε_{ik} , не более чем на 5–8%.

Величину критических деформаций, при которых начинается потеря устойчивости, при схемах напряженного состояния, отличающегося по величине от деформаций при линейном растяжении, можно определить с помощью уравнения [8]:

$$\varepsilon_{кр} = \frac{2\sqrt{1-m+m^2}}{2-m}n, \quad (9)$$

где $m = \sigma_2 / \sigma_1$ – отношение главных нормальных растягивающих напряжений;

n – показатель упрочнения материала.

При разноименных схемах напряженного состояния знаменатель последних уравнений изменяется на $(1+m)$ [7]. Если местное относительное удлинение на границе шейки (равномерное удлинение) δ_ε будет больше или равно относительному удлинению в середине шейки δ_κ , то разрушение заготовки производится без предшествующей разрушению потери устойчивости.

Граничное значение соотношения напряжений $m = \sigma_2 / \sigma_1$, при котором $\delta_\varepsilon = \delta_\kappa$ можно определить из формул (7) и (8).

Преобразовав выражение к виду:

$$D = (1+m)(1-m+m^2)^{-0,5}, \quad (10)$$

и приняв $\varepsilon_{inp} = \delta_\kappa$, получим:

$$\frac{2\delta_\varepsilon(1-m+m^2)^{0,5}}{2-m} = \delta_\kappa[k(1+m)(1-m+m^2)^{-0,5} + b], \quad (11)$$

где k – принимает значения $-2,25 \dots -1$; b – принимает значение $2,5$.

Уравнение (6) после преобразований приводится к уравнению четвертой степени и решается известными методами, например, методом Дирака-Эйлера.

При разноименных схемах напряженного состояния уравнение (6) имеет вид:

$$\frac{2\delta_\varepsilon}{\delta_\kappa} / D = -2,25D + 2,5, \quad (12)$$

которое приводится к квадратическому уравнению:

$$-2,25D^2 + 2,5D - \frac{2\delta_g}{\delta_k} = 0. \quad (13)$$

По данным [7] для стали 12X18H10T $\delta_g = 0,49$; $\delta_k = 1,23$.

При $-1 < D < 0$ уравнение решения не имеет. В интервале $0 < D < 1,5$ уравнение (3) преобразуется в вид:

$$-D^2 + 2,5D - \frac{2\delta_g}{\delta_k} = 0. \quad (14)$$

При этих значениях уравнение (14) имеет решение $D = 0,38$, что соответствует $m = -0,29$.

Если напряженное состояния заготовки в очаге деформаций характеризуется значениями $m \leq m_{zp}$, определяемое из уравнения (12) и (13), то разрушение будет происходить без предшествующей потери устойчивости, и при определении предельно допустимых степеней формоизменения нет необходимости в учете связанных с ней факторов. Однако, значения m полученные из уравнения (11) не соответствуют пределам изменения D , значению $m = -0,29$ и не соответствуют экспериментальным значениям [2].

В качестве характеристики локального деформированного состояния воспользуемся соотношением [8]:

$$\bar{\eta}_i = \varepsilon_i / \varepsilon_{kp} = \varepsilon_1 / n, \quad (15)$$

где ε_i – интенсивность логарифмических деформаций;

ε_{kp} – критическая интенсивность деформаций для данного соотношения m ;

ε_1 – логарифмическая деформация вдоль главной оси;

n – показатель упрочнения кривой пластичности при одноосном напряженном состоянии.

Следовательно, методика или экспериментальные данные, приведенные в работе [7] неправомерны.

Характеристикой использования пластичности при данном напряженном состоянии по сравнению с двухосным растяжением является параметр $\bar{\eta}_k$ [9, 10]:

$$\bar{\eta}_k = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{kp}(1)} = \frac{\varepsilon_i}{2n} = \left(\frac{\sqrt{1-m+m^2}}{2-m} \right) \left(\frac{\varepsilon_i}{n} \right) = \left(\frac{\sqrt{1-m+m^2}}{2-m} \right) (\bar{\eta}_i), \quad (16)$$

С учётом (15) выражение (16) преобразуется к виду:

$$\frac{\varepsilon_{kp(m)}}{\varepsilon_{k(1)}} = \frac{\sqrt{1-m+m^2}}{2-m}. \quad (17)$$

Для разноименной схемы напряженного состояния получаем:

$$D = \varepsilon_{k(1)} / \varepsilon_{kp(m)}. \quad (18)$$

Для стали 12X18H10T по данным В. А. Огородникова [9] $\varepsilon_{kp(m)}$ и $\varepsilon_{k(1)}$ пропорциональны величинам 0,7 и 1,6, следовательно, $D = 2,286$, что соответствует $m_{zp} = 1,429$, экспериментальное значение $m_{zp} = 1,336$ [2] и погрешность составляет 7% (6,961).

Выводы. С использованием методик А. Д. Томленова, А. Ю. Аверкиева и В. А. Ершова, экспериментальных данных И. Н. Изотова и А. Г. Митюкова и В. А. Огородникова получены граничные значения показателя схемы напряженного состояния, которые исключают потерю устойчивости, лежащего в пределах $1,932 < \eta < 2$.

Список литературы: 1. Павлов Л. А. Механические состояния и прочность материалов: учеб. пособие / Л. А. Павлов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-т, 1979. – 176 с. 2. Изотов И. Н. Экспериментальное изучение локализации пластических деформаций при плоском и объемном напряженном состояниях / И. Н. Изотов, А. Г. Митюков // Проблемы прочности. – 1973. – № 10. – С. 37–42. 3. Драгобецкий В. В. Устойчивость процесса формоизменения листовых деталей замкнутой формы / В. В. Драгобецкий. – Зб. наук. праць Кременчуцького державного університету: «Вісник КНУ ім. М. Остроградського». – Кременчук, 2010. – Вип. 6/2010 (65), ч. 1. – С. 52–54. 4. Сивак И. О. Пластичность металла при плоском напряженном состоянии / И. О. Сивак // Удосконалювання процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ, 2006. – С. 254–257. 5. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. – Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 3. – С. 15–18. 6. Смирнов-Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки материалов : монография / Г. А. Смирнов-Аляев. – М.: Машиностроение, 1968. – 271 с. 7. Ершов В. И. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки / В. И. Ершов, В. И. Глазков, М. В. Каширин. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с. 8. Томленов А. Д. Теория пластического деформирования металлов / А. Д. Томленов. – М.: Металлургия, 1972. – 480 с. 9. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – К.: Вища школа, 1983. – 175 с. 10. Дель Г. Д. Технологическая пластичность / Г. Д. Дель. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с.

Надійшла до редколегії 25.10.2012

УДК 621.7.044

Исследования потери устойчивости пластического деформирования при плоском напряженном состоянии / Троцко О. В. // Вісник «НТУ ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №46(952) – С. 107-112. – Бібліогр.: 10 назв.

В роботі наведені дослідження втрати стійкості пластичного деформування при плоскому напруженому стані. Встановлено, що при певних видах навантаження руйнування відбувається раніше, ніж втрата стійкості. Наведені залежності між інтенсивністю деформацій і показником схеми напруженого стану. Визначені граничні значення показника схеми напруженого стану, що виключають втрату стійкості.

Ключові слова: формозміна, втрата стійкості, інтенсивність деформацій, показник схеми напруженого стану.

Investigations of loss of stability of plastic deformation are given in the work at a flat tension state. It is determined that at certain types of loading collapse occurs earlier than a stability loss does. Dependences between the intensity of deformations and an the indicator of the scheme of tension are given. Boundary values of the indicator of the scheme of tension excluding a stability loss are defined.

Keywords: form change, stability loss, intensity of deformations, indicator of the scheme of tension.

УДК 621.7539.37; 621.891

С. В. ФЁДОРОВ, докт. техн. наук, проф., ФГОУ ВПО «КГТУ», Калининград

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ СОСТОЯНИЯ СДВИГА (ТРЕ- НИЯ) В ШАРНИРЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ОМД

В рамках процесса холодной ОМД анализируется модель трения (сдвига) на границе формообразующей поверхности матрицы, предложенная обобщенной теорией трения – трибоэргодинамикой. Рассматривается возможный эффект нано-квантовой «резки», образующей качество поверхности поковок. Произведена расчетная оценка качества поверхностного слоя изделия по модели идеального наноструктурирования. Показано, что высотный параметр шероховатости поверхности изделия может достигать уровня порядка 3-4 нанометра. Поверхностный слой изделия может иметь однородную нано-зернистую структуру с толщиной, порядка около микрона.

Ключевые слова: трение, деформация, пластичность, технологии давления,

© С. В. Фёдоров, 2012